

# Rail2X: Der Einsatz von V2X-Technologie im Eisenbahnbereich

## Rail2X: the application of V2X technology in the railway sector

Miriam Grünhäuser | Roman Hauck | Christian Meirich | Lucas Andreas Schubert

Das Projekt Rail2X-Smart Services evaluiert die Nutzung der Vehicle2Everything-Kommunikation (V2X) im Eisenbahnbereich. V2X ist ein WLAN-ähnlicher Standard (802.11p), der im Automobilbereich für den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und/oder Infrastruktur genutzt wird. Beispielsweise werden Baustellenwarnungen oder Stauinformationen an die Fahrzeuge übermittelt. Der Beitrag befasst sich mit dem Einsatz von V2X für den Anwendungsfall „Service und Diagnose“ im Eisenbahnbereich. In Bereichen mit schlechter Mobilfunkabdeckung bietet V2X Vorteile gegenüber der Nutzung von LTE (Long Term Evolution).

### 1 Einleitung

Um im Straßenverkehr den Autofahrer rechtzeitig vor kritischen Situationen zu warnen und zu unterstützen befindet, sich V2X seit mehreren Jahren in der Entwicklung und Erprobung. Dafür werden unter anderem Statusmeldungen zwischen Fahrzeugen ausgetauscht. Dieser Kommunikationsstandard ist nicht ausschließlich auf den Automobilbereich begrenzt, sondern ist verkehrsträgerunabhängig ausgelegt. Daher wird dieser Standard auch Vehicle-to-Vehicle (V2V) oder Vehicle2Everything genannt [1]. Ziel des Projektkonsortiums (Tab. 1) ist die Erforschung und Erweiterung von V2X als Rail2X in den Bahnbereich, um den Komfort sowie die Effektivität und Wirtschaftlichkeit des Bahnbetriebs im Regionalverkehr zu steigern. Dafür wurden Anwendungsfälle identifiziert, die einerseits eine Anwendung des Standards und andererseits einen wirtschaftlichen Nutzen für den Betrieb ermöglichen. Insbesondere im Bereich der Infrastruktur ist u. a. der Wartungsbedarf nicht immer bekannt und dadurch sind die Instandhaltungskosten bei Ausfällen unnötig hoch. Damit Kosten für die Technik

The Rail2X-Smart Services project evaluates the application of Vehicle2Everything-Communication (V2X) in the railway sector. V2X is a standard (802.11p) similar to WLAN, which is used in the automotive sector for the exchange of information between vehicles and/or infrastructure. One example of an application is the use of V2X to communicate construction site or traffic congestion warnings to vehicles. This article addresses the deployment of V2X in the “service and diagnosis” use case in the railway sector. In areas with poor mobile network coverage, V2X offers advantages over the use of LTE (Long Term Evolution).

### 1 Introduction

V2X has been under development and testing for several years in order to warn and support drivers in critical road traffic situations sufficiently in advance. Status messages are exchanged between vehicles in those cases. This communication standard is not limited to the automotive sector, but it can also be extended to other transportation sectors. As such, this standard is also known as Vehicle-to-Vehicle (V2V) or Vehicle2Everything [1].

The project consortium's objective (tab. 1) is the extension of V2X into the railway sector as Rail2X in order to increase the comfort, effectiveness and profitability of railway operations in the regional transportation sector. Various use cases, which enable the use of the standard on the one hand and provide economic benefits for railway operations on the other hand, have been identified to this end. For example, maintenance requirements are not always apparent in the area of infrastructure and as such the maintenance costs can be unnecessarily high in the

Tab. 1: Kompetenzen des Rail2X-Projektkonsortiums

Tab. 1: Competences of the Rail2X project consortium

Rail2X Projektkonsortium Rail2X Project Partners	u.a. mit folgenden Projektaufgaben / Expertisen with the following project tasks / expertises	 Das Startkapital für die Mobilität 4.0 
DB Systel GmbH DB Systel GmbH	als Konsortialführer mit Expertise in Eisenbahn-IT as the consortium leader with expertise in railway IT	
DB RegioNetz Infrastruktur GmbH Erzgebirgsbahn DB RegioNetz Infrastruktur GmbH Erzgebirgsbahn	Bereitstellung des Testfelds der Erzgebirgsbahn für die Demonstration provides the test field for the demonstration	
Siemens Mobility GmbH Siemens Mobility GmbH	Expertise in der Steuerungs- und Sicherungstechnik experience in control and security technology	
Hasso-Plattner-Institut der Universität Potsdam Hasso Plattner Institute of the University of Potsdam	Wissenschaftliche Expertise in IT-Sicherheit scientific expertise in IT security	
DRALLE Systementwicklungen DRALLE system developments	Erfahrung bei der Implementierung von Demonstratoren experience in the implementation of demonstrators	
Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. German Aerospace Center (DLR)	wissenschaftliche Expertise im Eisenbahnwesen scientific expertise in railway engineering	

reduziert werden können, sollen Standardkomponenten von V2X aus dem Automobilbereich zur Anwendung kommen.

Grundsätzlich soll es bei dem Projekt Rail2X ermöglicht werden, dass Verkehrsträger und Verkehrsmittel Informationen übergreifend austauschen können. Sowohl die Nutzung einheitlicher Standards als auch die Verknüpfung mit einem zentralen Datenmanagementsystem, das Daten bearbeitet und mit anderen Datenquellen wie der mCloud [2] korreliert, spielen dabei eine zentrale Rolle. Im vorliegenden Beitrag wird V2X und dessen mögliche Nutzung mit ihren Vor- und Nachteilen im Eisenbahnbereich erörtert. Zunächst wird der aus dem Automobilbereich bekannte Standard im Detail erläutert. Am Forschungsprojekt Rail2X wird anhand von drei Anwendungsfällen die Übertragbarkeit von V2X in den Eisenbahnbereich exemplarisch dargestellt. Im Nachgang findet eine detaillierte Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten des Anwendungsfalls „Service und Diagnose“ für das Beispiel einer Weiche statt. Abschließend werden eine Bewertung von V2X im Bahnbereich und eine Zusammenfassung ausgeführt.

## 2 Funktionsweise der V2X-Technologie

V2X beinhaltet die Kommunikation von Verkehrsteilnehmern untereinander.

Der Fokus liegt hierbei in den Inhalten des Informationsaustauschs, beispielsweise Beeinträchtigungen auf der Straße, Staus oder auch den Zustand einer Bahnschranke – also geschlossen oder offen. Durch die Kenntnis dieser Information kann sich der Fahrer auf die Beeinträchtigung vorbereiten oder sie meiden.

V2X-Nachrichten werden zwischen Verkehrsteilnehmern über den erweiterten WLAN-Standard IEEE 802.11p im 5,9-GHz-Frequenzbereich ausgetauscht [3]. In Europa ist für die Schaffung dieser weltweit anwendbaren V2X-Standards vorrangig das European Telecommunications-Standard Institut (ETSI) zuständig. Diese gemeinnützige Organisation ist von der EU für Normung anerkannt [4, 5].

Der Standard ETSI ITS G5 [5, 6] beschreibt die Architektur und Netzwerkmechanismen für V2V- und V2I-Kommunikation, wie z. B. Roadside Units (RSU), welche die infrastrukturseitigen Komponenten darstellen. Im WLAN-Standard IEEE 802.11p sind V2X-Nachrichten nur für die Kommunikation über kurze Distanzen (bis zu mehreren hundert Metern) ausgelegt. Es gibt verschiedene Einflussfaktoren, die sowohl eine Erweiterung als auch eine Reduzierung der Reichweite verursachen können. Dabei haben beispielsweise Gebäude und Laubwerk einen reduzierenden Einfluss [7].

Durch die Entwicklung von Standardkomponenten sind diese aufgrund ihrer produzierten Stückzahlen kostengünstig und robust. Eine Weiterverwendung im Eisenbahnbereich erscheint deshalb sinnvoll. Die aktuelle Forschung befasst sich überwiegend mit dem Straßenverkehr. Im Eisenbahnbereich gibt es derzeit für V2X nur wenige Forschungsvorhaben. Jedoch wird V2X hier hauptsächlich für die Kommunikation innerhalb des Zugverbandes angedacht und erprobt [8].

## 3 Übertragbarkeit der V2X-Technologie auf den Eisenbahnbereich – Rail2X

### 3.1 Anwendungsfälle der Rail2X-Technologie

Für die in Kapitel 2 beschriebene Technik wurden drei Anwendungsfälle definiert, um mögliche Einsatzmöglichkeiten exemplarisch zu beleuchten (Tab. 2).

Der erste Anwendungsfall „Service und Diagnose“ beschäftigt sich mit der Erfassung und Sammlung von Infrastrukturdaten zu Service- und Diagnosezwecken. Hier steht die Kommunikation zwischen Zug und Infrastruktur im Fokus. Ein Zug befährt die Stre-

case of any failures. Standard V2X components from the automotive sector can be used to reduce technology costs.

In general, the Rail2X-Smart Services project aims to make it possible for carriers and means of transport to exchange information across the board. The use of uniform standards and communication with a centralised data management system, which processes the data and correlates with other data sources such as the mCloud [2], also play a central role in this project. The V2X standard is discussed in this article, while taking into consideration the advantages and disadvantages associated with its use in the railway sector. The following chapter will provide an overview of the standard in the automotive sector. Chapter 3 will describe three use cases which have been evaluated in the Rail2X-Smart Services project. This will be followed by a detailed evaluation of the applicability of this standard to the “service and diagnosis” use case for monitoring a point machine. Finally, there will be an evaluation of V2X in the railway sector and a summary.

## 2 The functionality of V2X technology

V2X involves communication between traffic user instances.

The focus relies on the exchange of information such as road obstacles, traffic jams or a railway level crossing's status, i. e. closed or open. The driver can then react accordingly, i. e. by avoiding the situation or being prepared for it.

V2X messages are transmitted between traffic users over the extended IEEE 802.11p WLAN standard in the 5.9 GHz frequency [3]. The European Telecommunications-Standard Institute (ETSI) is the organisation in Europe which is primarily responsible for the creation of these internationally applicable V2X standards. This non-profit organisation has been recognised by the EU for standardisation [4, 5].

The ETSI ITS G5 standard [5, 6] describes the architecture and network mechanism for V2V and V2I communication, such as roadside units (RSU) which represent the infrastructure components. In the WLAN standard IEEE 802.11p, V2X messages are only designed for communication over short distances (up to several hundred meters). Different factors can have a positive or negative impact on the range of the WLAN signal. Buildings and foliage, for example, have a limiting influence on the signal range [7].

By the development of standard components these are cost-effective and robust due to the quantities produced. Further use of these components in the railway sector appears to be reasonable. Current research activities are mainly focussed on the automotive sector and there are only a few research projects for V2X in the railway sector. However, V2X is mainly evaluated and tested here for the purpose of communication within the trainset [8].

## 3 The transferability of V2X technology to the railway sector – Rail2X

### 3.1 Use cases for the Rail2X technology

Three different use cases have been defined for the technology described in Chapter 2 in order to evaluate the applicability of V2X in the railway sector (tab. 2).

The first “service and diagnosis” use case evaluates the task of receiving and storing data from infrastructure elements which can be used for service and diagnosis purposes. Here, the focus is on the communication between train and infrastructure

cke und sammelt via V2X Zustandsdaten der Infrastrukturelemente im Feld. Nach Betriebsschluss werden diese Daten im Depot an ein Rechenzentrum zur Auswertung übermittelt. Diese neue Form der zustandsorientierten Instandhaltung kann eine preiswerte Erfassung von Infrastrukturinstandhaltungsbedarfen ermöglichen. Der zweiten Anwendungsfall „Anrufschränke“ beschäftigt sich mit der Erhöhung des Komforts an Anrufschränken. Der Informationsaustausch zwischen Kraftfahrzeug (Kfz) und Bahnübergang (BÜ) steht hier im Vordergrund. Ein Kfz fährt an einen BÜ mit Anrufschränke heran und übermittelt via V2X den Wunsch zur Überquerung. Von dort wird die Information über bestehende Datenanbindungen an das Stellwerk weitergeleitet. Die Anbindung der Technik an den BÜ findet rückwirkungsfrei im Sinne der Eisenbahnzulassungsprozesse statt. Nach einer Prüfung, ob und wann dem Querungswunsch in Abhängigkeit des Eisenbahnbetriebs entsprochen werden kann, wird die Rückmeldung ebenfalls via V2X von dem BÜ an das Fahrzeug kommuniziert.

Der dritte Anwendungsfall „Bedarfhalt“ behandelt den Informationsaustausch zwischen Zug und Bahnsteig bzw. Haltepunkt. Die Übermittlung der Bedarfshaltinformation von der Bahnhofstation an den Zug steht im Vordergrund dieser Betrachtung. Hier wird die Möglichkeit geschaffen, den Haltewunsch eines Zugreisenden an einem Bahnsteig an den nächsten heranfahrenden Zug zu signalisieren. Dieser Haltewunsch wird via V2X an den Zug übermittelt. Der Triebfahrzeugführer des herannahenden Zuges kann, in Abhängigkeit der entsprechenden Vorlaufzeit für das Absetzen des Haltewunsches, den Wunsch quittieren oder ablehnen. Diese Information in Form einer Bestätigung oder Stornierung wird erneut via V2X an den Bahnhof und damit an den Zugreisenden übermittelt.

Dieser Anwendungsfall beinhaltet ebenfalls den Fahrgast im Zug. Dafür werden im Zug zusätzliche Taster installiert, an denen der Reisende seinen Haltewunsch absetzen kann. Über eine entsprechend geschaltete Anzeige im Fahrgastraum erhält der Reisende eine Rückmeldung „Zug hält“ oder bei einem zu spät abgesetzten Haltewunsch „Zug fährt durch“.

Zukünftig werden bei allen drei Anwendungsfällen Daten wie Service und Diagnose und Fahrzeugtrajektorien an ein Datenmanagementsystem übertragen. Diese Daten werden mittels Big Data Technologien wie u. a. Apache Kafka [9], Apache Flink [10] und Apache Spark [11] bearbeitet. Parallel zu der Bearbeitung von Nachrichten der Einheiten im Feld wird das Datenmanagementsystem mit der Verkehrssimulationssoftware SUMO [12, 13] gekoppelt, um alle drei oben beschriebenen Anwendungsfälle zu simulieren.

Ziel ist es, die Anwendung der Technik in den jeweiligen Anwendungsfällen auf einer 24 km langen Strecke im Schienennetz der DB RegioNetz Infrastruktur GmbH Erzgebirgsbahn zu erproben (Bild 1).

### 3.2 Anwendungsfall Service und Diagnose

Derzeit gibt es bei Infrastrukturanlagen der Eisenbahn keine einheitliche Diagnoseplattform. Dies liegt u. a. an mangelnder Standardisierung der Schnittstellen, aber auch an der verfügbaren Übertragungsbandbreite. An dieser Stelle kann V2X helfen, einen entscheidenden Fortschritt zu erzielen. Dazu kann zukünftig in jede geeignete technische Anlage bei der Eisenbahn ein WLAN-Modul (802.11p) integriert werden, ähnlich wie sie in der Automobiltechnik verwendet werden. Die Integration kann umfassend erfolgen, vom Fahrkartenautomaten über Sensoren der Außenanlagen bis hin zu Triebfahrzeugen, Wagons oder Bahnübergängen. Alle Komponenten bilden ein sogenanntes wireless mesh network, welches eine Kommunikation der einzelnen Systeme ermöglicht. Dies bedeutet: Überträgt eine Anlage eine Meldung, sendet sie diese als Broadcast in die Umgebung. Alle in der Reichweite befindlichen Anlagen, die mit einer entsprechenden Tech-

Nr.	Rail2X Anwendungsfall Use Case	Informationsaustausch zwischen Information exchange
1	„Service und Diagnose“ „Service and Diagnosis“	Zug und Infrastrukturanlage Train and Infrastructure
2	„Anrufschränke“ „Railway Crossing“	Kfz und Bahnübergang Automotive Vehicle and a Railway Crossing
3	„Bedarfhalt“ „Request Train Stop“	Zug und Haltepunkt Train and Station

Tab. 2: Anwendungsfälle des Projektes Rail2X – Smart Services

Tab. 2: Use Cases evaluated in project Rail2X – Smart Services

elements. A train travels on a specific track and collects service and diagnosis data from elements along the line using the V2X standard. At the end of the day, the data is uploaded into a data management system at the depot for further analysis. This new form of data collection from infrastructure elements can reduce the costs of collecting service and diagnosis data.

The second use case “railway crossing” deals with increasing the comfort at railway crossings. This use case mainly focusses on the communication between cars and the railway crossing. Therefore, a motor vehicle approaches the railway crossing and sends via V2X a request to traverse the railway crossing. The infrastructure element transmits the information to the interlocking over existing data connection. The technical connection to the railway crossing does not interfere in the process, meaning that no homologation process is required in this use case. As soon as the request feedback from the interlocking has been received, the response is sent from the railway crossing to the approaching motor vehicle depending on the railway operations.

The third use case “request train stop” deals with the exchange of information between train and railway station or stop. The transmission of the stop-request information from the railway station to the train is the main focus of this use case. Here, it becomes possible to signal a passenger’s wish to board the next approaching train on a platform. The information will be provided using V2X. The train operator can accept or reject the request by pressing a button. This confirmation or cancellation is also transmitted to the station and therefore to the passenger via V2X.

A button is installed in the train to enable passenger on board to send a stop request. In this case, a display in the train will show the information “Train will stop” or “Train will not stop”, if the request has been made too late.

Information such as service and diagnosis data and vehicle trajectories will be sent to the data management system in all three use cases. This data will be processed using big data technology such as Apache Kafka [9], Apache Flink [10] and Apache Spark [11]. The data management system will also receive similar messages from the SUMO microsimulation software [12, 13], which is connected to the data management system to simulate all three use cases described above, in parallel with the processing of messages received from the devices in the field.

The goal is to evaluate all three use cases by deploying the systems on the 24 km long railway track from the Erzgebirgsbahn operated by DB RegioNetz Infrastruktur GmbH (fig. 1).

### 3.2 The “service and diagnostics” use case

There is currently no standard diagnostic platform for railway infrastructure. This is partly due to a lack of standardisation in the interfaces, but also to the available transmission bandwidth. V2X can help in making decisive progress here. Therefore, a WLAN module (802.11p) can be integrated into any suit-





**Bild 1: Eisenbahnstrecke Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg in Rot [14]; Luftbilder aus dem Geoportal Sachsenatlas [15]**

Fig. 1: Railway track Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg in red [14]; aerial photos from Geoportal Saxony Atlas [15]

nik ausgestattet sind, können diese Nachricht empfangen. Eine Priorisierung der Nachrichten findet aktuell nicht statt.

Bild 2 verdeutlicht den Aufbau dieses Anwendungsfalls. Auf der rechten Seite sind die technischen Anlagen zu sehen, welche mit dem WLAN-Modul (802.11p) ausgestattet werden. In diesem Fall werden Service- und Diagnosedaten von der Weiche und Wetterdaten einer Wetterstation gesammelt. Der vorbeifahrende Zug sammelt diese Daten ein, wenn er diesen Streckenabschnitt überfährt. Sobald der Zug im Depot ankommt, werden alle eingesammelten Daten per WLAN an das Datenmanagementsystem übermittelt.

Eine erfolgreiche Umsetzung setzt neben angemessenen IT-Sicherheitsmaßnahmen insbesondere die Standardisierung von Diagnosenachrichten voraus. Hier sind vornehmlich eigene Nachrichtentypen zu definieren. Für ein besseres Verständnis folgen nun einige Anwendungsbeispiele. Ein Feldelement, z. B. ein Weichenantrieb oder ein Achszähler, kann eine Diagnosemeldung direkt per Rail2X-Übertragung an die vorbeifahrenden Züge schicken. Die Meldungen werden im Zug gesammelt und je nach Priorität entweder sofort (z. B. per GSM-R) oder am Ende der Fahrt (z. B. per WLAN im Depot) an eine Datensammelstelle durchgegeben. Dadurch kann eine Erhöhung der Verfügbarkeit der Infrastruktur und Wirtschaftlichkeit der Wartung durch die Verbesserung der präventiven Instandhaltung erzielt werden. Die Triebfahrzeuge agieren dabei als Datensammler, alle empfangenen Rail2X-Daten werden an Bord gespeichert und nach Umlaufende an ein Datenmanagementsystem übertragen. Anschließend werden die Daten der Auswertung übergeben.

### 3.3 Service und Diagnose – Verbesserungen durch Rail2X

Im Bereich „Service und Diagnose“ ist ein spezieller Anwendungsfall die Weiche. In den folgenden Abschnitten werden verschiedene Anwendungen beschrieben, welche die Messung von Parametern im Umfeld der Weiche aufgreifen. Es gibt aber auch zahlreiche

able technical railway system, similarly to that used in automotive engineering. The integration can be comprehensive; from the ticket vending machines to the outdoor sensors and on to the traction vehicles, wagons or level crossings. All components form a so-called wireless mesh network, which enables communication between the individual systems. This means that whenever a system transmits a message, it sends it as a broadcast to the environment. All systems equipped with the appropriate technology which are within range can receive this message. The messages are not currently prioritised.

Fig. 2 illustrates the structure of this use case. On the right-hand side, you can see the technical systems which have been equipped with the WLAN module (802.11p). In this case, service and diagnosis data is collected from the point machine and weather data from a weather station. The passing train collects this data when it passes through this section. As soon as the train arrives at the depot, all collected data are transmitted to the data management system via WLAN.

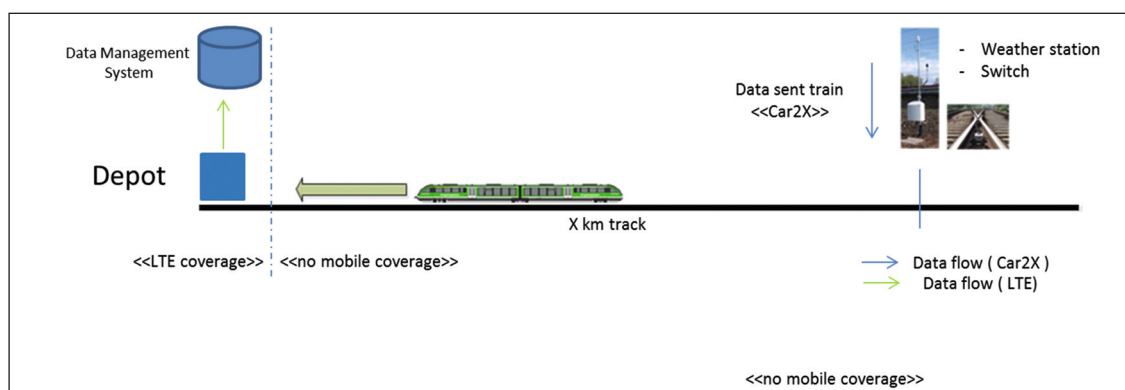
Successful implementation especially requires standardisation of the diagnostic messages in addition to appropriate IT security measures. In this case, the most important thing is to define railway-specific message types. Here are a few application examples for a better understanding.

A field element, i. e. a point machine or an axle counter, can send diagnostic messages directly to passing trains using a Rail2X transmission. The messages are collected in the train and are then transmitted to a data collection point either immediately (e. g. via GSM-R) or at the end of the journey (e. g. via WLAN in the depot) depending on their priority. This allows for increased availability of the infrastructure and the achievement of the economic efficiency of the maintenance by improving preventive maintenance. The traction units act as data collectors. All the received Rail2X data is stored on board and then transmitted to a data management system at the end of the day. The data is then transferred to the evaluation system.

### 3.3 Service and diagnostic improvements achieved using Rail2X

A railway point machine constitutes a special application in the field of “service and diagnostics”. The following sections describe different applications, which measure the parameters in the environment of the point machine. However, there are also numerous other conceivable infrastructure elements, whose diagnostic data could also be transferred via Rail2X.

It is necessary to transmit the unique identification of the point machines to the passing trains using Rail2X for diagnostic and testing purposes. Therefore, each point machine



**Bild 2: Überblick Anwendungsfall Service und Diagnose**

Fig. 2: Overview Use Case Service and Diagnostics

Quelle / Source: DLR

weitere denkbare Infrastrukturelemente, deren Diagnosedaten via Rail2X übertragbar sind.

Für Diagnose- und Prüfzwecke ist es sinnvoll, eine eindeutige Identifikation der Weiche mittels Rail2X an vorbeifahrende Züge zu übermitteln. Jede Weiche wird daher mit einer ID versehen, das kann bspw. die Weichennummer sein. Durch eine Verknüpfung der Weichen-ID mit der entsprechenden geographischen Position erzeugt dieser Anwendungsfall bereits einen Nutzen für Projekte in den Bereichen der prädiktiven Instandhaltung und der Ortung. Beim Überfahren der Weiche erhält der Zug somit eine genaue Positionsangabe entlang der Strecke, da die Position der Weiche exakt bekannt ist. Für die Übertragung der Position werden die, zu diesem Zweck im ETSI Standard definierten, Common Awareness Messages (CAM) genutzt.

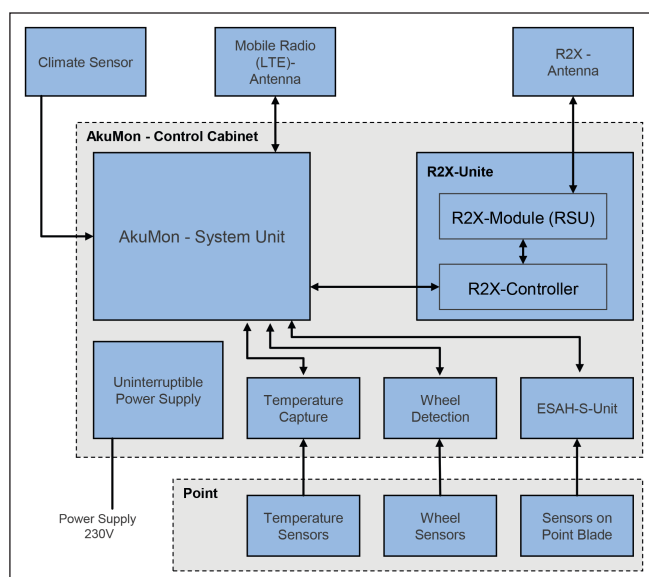
Die Weiche kann aber nicht nur ihre ID und den Standort an die Umgebung senden, sondern auch dynamische Daten, die direkt an der Weiche gemessen werden. Die Anzahl an Zugüberfahrten ist als Eingangsgröße für die Verschleißprognose des Infrastrukturelements eine entscheidende Kenngröße, die für viele Weichen bislang aber nur grob fahrplanbasiert zu schätzen ist [16]. Es existieren bereits Systeme, die die exakte Anzahl der Überfahrten bestimmen können. Allerdings sind diese Systeme nicht flächendeckend verbaut und liegen nicht an jeder Weiche vor. Der Anreiz bei Rail2X liegt darin, eine solche Information, sofern diese an der Weiche gemessen werden kann, einem Zug direkt mitzugeben. Durch Einsparung von Kabelwegen bei Verwendung von Rail2X können Investitionen in die Weichendiagnose gesenkt werden. Somit können mehr Weichen als bislang mit einer Zähleinrichtung ausgerüstet werden. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen erhalten ein umfassenderes Lagebild über den Zustand ihrer Weichen im Streckennetz, was unter anderem zu einer besseren Planbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen führt. Neu gemessene Daten können vorhandene Messreihen zur prädiktiven Instandhaltung sinnvoll ergänzen und somit die Verschleißprognose verbessern, sodass Ausfallwahrscheinlichkeiten der Infrastrukturelemente langfristig reduziert werden.

Einen weiteren Vorteil bringt die lokale Erfassung von Wetterdaten an der Weiche. Die Entfernungen von Wetterstationen und bahnspezifische Spezialfälle wie Einschnitte, Dammlagen oder Hochlagen im Streckenbereich werden oft nicht ausreichend berücksichtigt und führen zu Abweichungen bei der Beurteilung der lokalen Wettersituation an der Weiche. Die direkte Messung von meteorologischen Messwerten an der Weiche führt zu einer verbesserten prädiktiven Instandhaltung, da das Wettergeschehen im direkten Umfeld in Bezug zum Verschleißverhalten der Weiche gesetzt werden kann [17].

Mithilfe eines Vergleichs von unbeheizter und beheizter Schiene kann des Weiteren die korrekte Funktion einer Weichenheizung überwacht werden. Ein Indikator für die ordnungsgemäße Funktion bildet die Temperatur der Schienen im Bereich der Weichenheizung. Hier bietet sich die Möglichkeit, den Temperaturwert der beheizten sowie der unbeheizten Schiene direkt abzugreifen und per Rail2X an den Zug zu übertragen.

Die Systemarchitektur an der Weiche sowie für die Empfangsstation ist jeweils in Bild 3 und Bild 4 schematisch dargestellt.

Für den Eisenbahninfrastrukturbetreiber ergeben sich durch die „Elektronische System-Analyse im Herzstückbereich“ (ESAH) zahlreiche Vorteile. Die Verfügbarkeit der überwachten Weichen kann gesteigert werden [18]. Die Instandhaltungskosten für die Weichenanlagen und den Oberbau können reduziert werden. Des Weiteren ist es möglich, Veränderungen in der Spurführung von Weichen zu detektieren. Da ESAH aber bislang auf Mobilfunklö-



**Bild 3: Schematische Darstellung der Systemarchitektur an der Weiche**

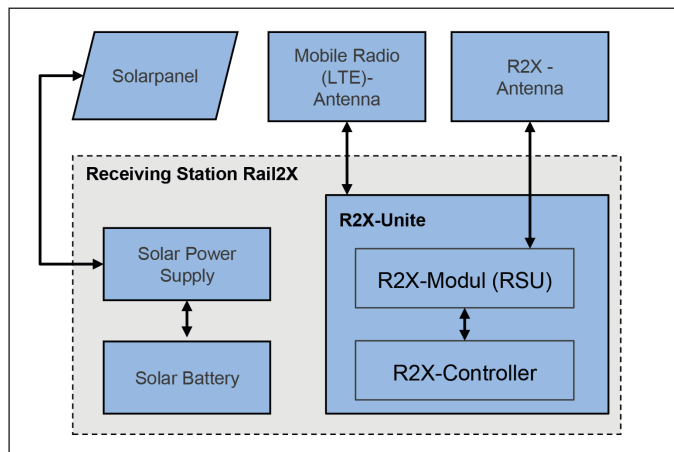
Fig. 3: Schematic representation of the system architecture at the point

Quelle / Source: DLR

is provided with an ID, such as a point machine number. This application generates a benefit for projects in the areas of predictive maintenance and localisation by connecting the point machine ID with the corresponding geographical position. When crossing the point machine, the train therefore receives its exact position on the line, since the exact position of the point machine is known. The Common Awareness Messages (CAM) defined for this purpose in the ETSI standard are used to transmit the position.

In addition to being able to send its ID and location to the environment, the point machine can also send dynamic data measured directly at the point machine. The number of train crossings is a decisive parameter for the wear prognosis of an infrastructure element, but for many point machines it can only be estimated roughly on basis of the timetable [16]. There are already existing systems which can determine the exact number of crossings. However, these systems have not been comprehensively installed and are not available at all point machines. The appeal of Rail2X lies in the ability to transfer such information directly to the train, provided it can be measured at the point machine. The use of Rail2X can lead to reduced investments in point machine diagnosis thanks to savings on cable runs. This means that more point machines can be equipped with a counting device than ever before. The railway infrastructure companies will receive a more comprehensive picture of the state of their point machines in the railway network which, amongst other things, can lead to the better planning of maintenance measures. The newly measured data can meaningfully supplement the existing series of measurements for predictive maintenance and thus improve the attrition prognosis so that the probability of the infrastructure elements failing is reduced over the long term.

Another advantage involves the local recording of weather data at the point machine. Distances from weather stations and railway-specific special cases such as cuttings, embankments or high altitudes in the track area are often not sufficiently considered and can lead to deviations in the assessment of the local weather situation at the point machines. The direct meas-



**Bild 4: Schematische Darstellung der Systemarchitektur der Empfangsstation**

Fig. 4: Schematic representation of the system architecture of the receiving station

Quelle / Source: XXX

sungen oder aufwendige Kabeltrassen angewiesen ist, bietet Rail2X hier eine Möglichkeit, ausgewählte Daten per Zug zu übermitteln und an einen Datenserver weiterzuleiten.

Diese Informationen werden über eine große Distanz an eine Gruppe von Interessenten dieser Nachricht übermittelt. Insbesondere in Gebieten mit einer schlechten Mobilfunkabdeckung ist eine Übermittlung via Rail2X von Vorteil, da hier die Weitergabe der Daten gewährleistet wird und keine Abhängigkeit von Mobilfunkanbietern besteht. Für diese Verbesserungen sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen. Es sind sowohl die Fahrzeuge mit einer On-Board-Unit (OBU) als auch die Infrastrukturelemente mit einer RSU auszurüsten, um eine V2X-Kommunikation zu gewährleisten. Dieser Schritt ist zunächst mit Kosten für Eisenbahninfrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen verbunden. Diese fallen im Gegensatz zu den erforderlichen Baumaßnahmen bei kabelgebundenen Lösungen geringer aus. Als weitere Prämisse wird vorausgesetzt, dass die Datenfrequenz als ausreichend gegeben ist und der Betrieb durch den Datenaustausch nicht beeinflusst wird.

Bei der V2X-Kommunikation werden unter anderem Positionsdaten über die WLAN-Module (802.11p) übertragen. Ein wichtiger Aspekt ist die Sicherheit der angewendeten Systeme und der Ausschluss eines unbefugten Zugriffs. Die RSU sind mit einer Firewall ausgestattet, um die Sicherheit der Einheit zu erhöhen. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Daten zusätzlich mit einer Public-Key-Infrastruktur in Form von Zertifikaten zu schützen. Diese Zertifikate werden u. a. zur Absicherung rechnergestützter Kommunikation verwendet. Die Höhe des Aufwandes für eine solche Verschlüsselung darf dem gewonnenen Nutzen der Informationen aus Rail2X nicht entgehen.

#### 4 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass nach theoretischer Prüfung die Übertragbarkeit von V2X auf den Eisenbahnbereich als Rail2X möglich scheint. Die prototypische Erprobung im Feld bei der Erzgebirgsbahn ist als nächster Schritt geplant. Dort werden die oben beschriebenen Anwendungsfälle aufgebaut, um die Praxistauglichkeit der Systeme zu testen. Im Nachgang werden die Ergebnisse und Erkenntnisse ausgewertet.

Allerdings gibt es hierbei verschiedene bahntypische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die vor einem möglichen Einbau

urement of meteorological values at a point machine leads to improved predictive maintenance, as the weather conditions in the direct vicinity can be related to the wear performance of the point machine [17].

The correct functioning of a point heater can also be monitored by comparing the heated and unheated rails. The temperature of the rails in the area of the point heating is an indicator of correct functioning. Here, it is possible to directly measure the temperature value of the heated as well as the unheated rail and to transfer it to the train via Rail2X.

The system architecture at the point machine and in the receiving station is shown schematically in fig. 3 and fig. 4.

The "Electronic System Analysis Core Area" (ESAH) offers numerous advantages to the railway infrastructure operator. The availability of the monitored point machines can be increased [18]. The maintenance costs for the point systems and the superstructure can be reduced. Furthermore, it is also possible to detect changes in a point machine's track guidance. Given that ESAH has been so far dependent on mobile communication solutions or complex cable routes, Rail2X offers the option of transmitting selected data by train and forwarding it to a data server. This information will be transmitted over long distances to a group of people interested in the message. Transmission via Rail2X is especially advantageous in areas with poor mobile coverage, as the data transmission is guaranteed and there is no dependence on mobile phone providers.

The following boundary conditions have to be considered for these improvements. The vehicles must be equipped with an on-board unit (OBU) and the infrastructure elements require an RSU in order to ensure V2X communication. This step is initially associated with costs for railway infrastructure operators and railway companies. However, they are lower than those required for the installation of wired solutions. A further premise presupposes that the data frequency will be sufficient and that operations will not be influenced by the data exchange.

Position data is transmitted via the WLAN modules (802.11p) during V2X communication, among other things. An important aspect of this involves the security of the used systems and the exclusion of any unauthorised access. The RSU are equipped with a firewall in order to increase the security of the unit. In addition, it is possible to protect the data with a public key infrastructure in the form of certificates. These certificates are used, amongst other things, to secure computer-aided communication. The amount of effort required for such encryption shall not conflict with the benefits gained from the information provided by Rail2X.

#### 4 Summary

In summary, the theoretical evaluation and transferability analysis of V2X to the railway sector have shown that the use of Rail2X seems possible. The next planned step involves the building of the prototypes on site at the Erzgebirgsbahn for testing scenarios. The use cases described above will be installed on site in order to test the practical suitability of the system. The results and findings will subsequently be evaluated.

However, there are general railway parameters which have to be considered and analysed before the RSU can be used in the field. An important aspect of the homologation process involves the fact that the communication does not interfere with or is not disrupted by any other railway systems. This elaboration



der RSU zu klären sind. Dazu gehört grundsätzlich, dass diese Kommunikationsform rückwirkungsfrei in den Bahnbetrieb eingebaut wird, um den Ablauf und die genehmigten Prozesse nicht zu beeinträchtigen. Die Klärung dieser Rahmenbedingungen erzeugt im Vorfeld administrative Aufwände, welche Grundlagen für einen zusätzlichen Nutzen durch den Infrastrukturbetreiber sind. Abschließend ist festzustellen, dass die Übertragbarkeit von V2X auf den Bahnbereich einen erkennbaren Mehrwert darstellen könnte.

### Rechtlicher Hinweis / Förderhinweis

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Programm mFund gefördert. Die vorliegenden Ergebnisse sind im Rahmen des Projektes Rail2X-Smart Services (19F2010) entstanden. ■

### LITERATUR | LITERATURE

- [1] Schmidt, R. K.; Leinmüller, T.; Böddeker, B.: V2X Kommunikation: 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2008
- [2] Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur: mCloud: Das offene Datenportal des BMVI. URL <https://www.mcloud.de> (letzter Zugriff: 11.04.2019 um 08:34)
- [3] Ieee Standards Association: IEEE Std 802.11p-2010 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007), 2010
- [4] Bundesnetzagentur: ETSI-European Telecommunications Standards Institute. URL [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Technik/Standardisierung/InternVerbdgUndKoordinierungsstelle/ETSI/etsi-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Technik/Standardisierung/InternVerbdgUndKoordinierungsstelle/ETSI/etsi-node.html) (letzter Zugriff: 11.04.2019 um 08:40)
- [5] EN 302 663 V1.2.0. 2012. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
- [6] ETSI ES 202 663 ver. 1.1.0. 2009. European Profile Standard for the Physical and Medium Access Control Layer of Intelligent Transport Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band
- [7] Wille, C.; Ruppe, S.; Wesemeyer, D.; Neuner, H.: Erweiterung eines kooperativen Steuerverfahrens zur Integration von kleinen mobilen Robotern in den verkehrssicheren und qualitätsoptimierten Verkehrsablauf und Implementierung in einer Laborumgebung. 2019 (unveröffentlicht)
- [8] Kuss, I.: Mit Automobiltechnik Güterzüge vernetzen: Bosch und SBB Cargo. URL <https://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/sonstiges/mit-automobiltechnik-guetierzuege-vernetzen-123773.html> (letzter Zugriff: 11.04.2019 um 08:38)
- [9] Apache Kafka: A distributed streaming platform. URL <https://kafka.apache.org> (letzter Zugriff: 02.04.2019 um 08:35)
- [10] Apache Flink: Stateful Computation over Data Streams. URL <https://flink.apache.org> (letzter Zugriff: 02.04.2019 um 8:36)
- [11] Apache Spark: Unified Analytics Engine for Big Data. URL <https://spark.apache.org> (letzter Zugriff: 02.04.2019 um 8:37)
- [12] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Verkehrssystemtechnik: SUMO-Simulation of Urban MOBility. URL <https://sumo.dlr.de/index.html> (letzter Zugriff: 17.04.2019 um 15:44)
- [13] Wießner, E.; Erdmann, J.; Flamm, L.; Jäger, B.: Auf Straße und Schiene mobil – intermodale Verkehrssimulation mit SUMO. In: SIGNAL+DRAHT (110) 11/2018, S. 49–55
- [14] Shankar, S.: Multi-sensor approach to map the center line of a railway track. Münster, WWU Münster, Institute for Geoinformatics. Master Thesis. 24.10.2018
- [15] Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen: Geoportal Sachsenatlas. URL <https://geoportal.sachsen.de> (letzter Zugriff: 02.04.2019 um 8:35)
- [16] Redeker, F. R.; Brugman, D. E.: Ferndiagnose von Eisenbahnobjekten. In: EI - DER EISENBAHNINGENIEUR (54) 03/2016, S. 38–41
- [17] Narezo Guzman, D.; Neumann, T.; Groos, J. C.: Kontinuierliche Überwachung der LST mit eingebetteten Sensoren: Automatische Anomalie-Erkennung für die Leit- und Sicherungstechnik mit Verfahren der künstlichen Intelligenz In: EI - DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2018, S. 6–11
- [18] Kirchmöser: Condition based maintenance zur Fahrwegüberwachung: Diagnosetechnologie für die Zustandsüberwachung Elektronische System-Analyse Herzstückbereich. Unveröffentlicht

tion of the framework conditions will give rise to the administrative efforts which are fundamental for any additional use by infrastructure operators. In conclusion, it should be noted that the transferability of V2X to the railway sector could represent discernible added value.

### Legal notice

The work presented here was funded by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) under the mFund program. The results presented here are the result of the Rail2X-Smart Services project (19F2010). ■

### AUTOREN | AUTHORS

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Miriam Grünhäuser**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin / *Research Scientist*  
E-Mail: [Miriam.Gruenhaeuser@dlr.de](mailto:Miriam.Gruenhaeuser@dlr.de)

**Roman Hauck, B.Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research Scientist*  
E-Mail: [Roman.Hauck@dlr.de](mailto:Roman.Hauck@dlr.de)

**Dr.-Ing. Christian Meirich**  
Gruppenleiter Angebotsplanung und Betrieb /  
*Team Leader Mobility and Operational Planning*  
E-Mail: [Christian.Meirich@dlr.de](mailto:Christian.Meirich@dlr.de)

**Lucas Andreas Schubert, M.Sc.**  
Gruppenleiter Datenmanagement und Geodatenverarbeitung /  
*Team Leader Spatial Data Processing and Engineering*  
E-Mail: [Lucas.Schubert@dlr.de](mailto:Lucas.Schubert@dlr.de)

Alle Autoren | all authors:  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig